国标地面数字电视覆盖网络规划方法与应用

摘　要：随着我国数字电视的地面传输应用，DTMB 成为第四个地面数字电视的国际标准，必将对我国的数字电视产业发展和国际化推进，产生巨大而深远的影响。在无线发射台站建设过程中，网络规划是一项非常重要的工作。本文对地面数字电视覆盖网络规划相关的基本知识做了简要的概述，并重点介绍了国标推荐的几种工作模式、覆盖网络规划计算常用公式，并结合单频网项目论述法国 ATDI 公司的 ICS Telecom NG 覆盖规划分析软件的计算过程及结果显示，验证了使用仿真软件进行网络规划的可行性，并针对此项目提出了网络优化的建议。

关键词：地面数字电视；无线覆盖规划；仿真计算
中图分类号：TN949.197　　文献标识码：A
文章编号：1671-0134（2017）08-069-04　　DOI：10.19483/j.cnki.11-4653/n.2017.08.024

■文 / 刘国庆　张丽丽

随着科技的进步与人民生活水平的不断提高，广播电视数字化已成为发展的必然趋势，地面电视向数字化迈进已摆上重要日程，未来几年将是数字电视加速发展阶段。在地面数字电视网络建设过程中，网络规划是一项非常重要的工作。网络规划就是结合行业相关准则和标准，在满足覆盖要求的前提下，合理配置发射台站数量、发射台位置、发射功率、发射天线挂高、发射天线类型，达到建网成本最低，并且规避各台站之间干扰的目的。

1. 地面数字电视覆盖网络规划

地面数字电视网络规划就是为了达到预定的覆盖目标，在覆盖网络建设前，结合行业相关标准，提出一套系统建设方案，包括配置合理的发射台数量、发射台站址、发射功率、发射天线挂高、发射天线类型、单频网网络时延等参数，使网络在达到覆盖要求的前提下，降低建网成本，规避网络干扰。

1.1 地面数字电视信道特性

地面数字电视的传输频率：米波（VHF）45~230MHz，分米波（UHF）470~800MHz。地面数字电视信号在空间自由传播，受外界条件的影响很大，比如天气的变化，地形、建筑物、移动物体的遮挡引起的反射散射作用等。

在复杂的无线信道中，由于存在直射波、反射波、绕射波，接收端的信号是这些电波的合成信号，从而产生多径效应。多路信号到达接收机的时间不同，如果这些相对时延远小于一个符号的时间，则可认为多路信号几乎同时到达，这种情况下多径效应不会造成符号间的干扰，否则如果时延大于一个符号的时间则会产生符号间的干扰，造成传输信号衰落。

1.2 传输模型

地面数字电视网络规划建立在传输模型的基础上，传播模型的精确度直接关系到规划结果的准确性。传输模型可以简单分为理论模型和经验模型。地面数字电视覆盖范围广，传输条件复杂，不适合采用理论模型，一般采用经验模型。根据广播电视部门的测试和建议，适用于数字电视的传输模型主要有 Okumura-Hata 模型、ITU-R370 模型、ITU-R1546 模型和 ITU-R526 模型。

1.3 地面数字电视传输国际标准

目前被国际电信联盟采纳的地面数字电视传输标准有美国的 ATSC、欧洲的 DVB-T/T2、日本的 ISDB-T、我国的 DTMB 四个标准。四种地面数字电视传输标准的信道编码和调制方式有所不同，在技术参数和功能上各有优劣，我国各城市地面数字电视均采用国标 DTMB 标准。

1.4 国标的工作模式

在中国大陆、香港地区地面数字电视标准主要采用国标。国家新闻出版广电总局推荐的 7 种工作模式，如表 1-1 所示。数据率越高，一个频道里可以提供的数字电视业务质量越高或者节目套数越多，但是接收门限就越高。根据实验室测试结果和组网经验，模式 1 和模式 2 适合于移动接收；模式 3 既支持固定接收，又支持移动接收；模式 4 和模式 5 适合复杂城市环境的高码率固定接收；模式 6 和模式 7 适合简单城市、郊区及农村环境的甚高码率固定接收。

表 1-1　国家新闻出版广电总局推荐的 7 中工作模式

序号	载波模式	调制方式	编码效率	帧头模式	数据率 (Mbps)
1	C=3780	16 QAM	0.4	945	9.626
2	C=1	4 QAM	0.8	595	10.396
3	C=3780	16 QAM	0.6	945	14.438
4	C=1	16 QAM	0.8	595	20.791
5	C=3780	16 QAM	0.8	420	21.658
6	C=3780	64 QAM	0.6	420	24.365
7	C=1	32 QAM	0.8	595	25.989

2. 数字电视覆盖规划方法

2.1 传统手工计算

在早期计算机技术不发达时，通常采用计算公式对覆盖范围和接收场强进行估算。下面简要介绍几个常用的计算公式。

2.1.1 最大视距覆盖距离

数字电视信号按视距传输，在了解发射天线高度和接收天线高度的情况下可通过此公式简单估算传输距离。

$D=4.12(\sqrt{h_T}+\sqrt{h_R})$

式中：D 为视距距离 (km)，hT 为发射天线高度 (m)，hR 为接收天线高度 (m)。

2.1.2 自由空间的传输损耗

随着电波传播距离的增加，空间的球面面积越来越大，接收点单位面积的电波能量逐渐减弱，形成了电波能量的损耗，这种损耗就称为自由空间传播损耗。自由空间传播损耗计算公式可用于无遮挡物的链路传播计算，如微波链路损耗计算，室内覆盖计算等。自由空间距发射机 d 处的辐射功率密度为：$\rho=\frac{P_tG_t}{4\pi d^2}$

式中：P_t 为发射功率（W），G_t 为发射天线增益，d 为传输距离（km）。

设定接收天线面上场具有等相、等幅分布， 则接收天线的有效面积为：$A=\frac{\lambda^2}{4\pi}G_r$

式中：G_r 为接收天线增益，λ 为发射频率中心波长。

接收天线上的接收功率可表示为：

$$P_r=\rho A=P_tG_tG_r\left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2$$

通常在工程实践中，使用 dB 的方式来计算，通过上式推导出自由空间传播损耗 Ls 表示为：

$$Ls = 20\log(\frac{4\pi d \bullet f}{c})$$
$$= -147.6 + 20\log f(Hz) + 20\log d(m)(dB)$$
$$= -27.6 + 20iogf\ (MHz) + 20\log d(m)(dB)$$
$$= 32.4 + 20\log f(MHz) + 20\log d(km)(dB)$$
$$= [92.4 + 20\log f(GHz) + 20\log d(km)(dB)]$$

接收功率电平 P_r 用分贝表示为：$P_r=G_t+G_r+P_t-L_s$

2.1.3 非自由空间传输损耗

电波的实际传输环境通常为非自由空间，数字电视工程常用 Okumura–Hata 模型来进行估算。Okumura–Hata 模型传输损耗 L_P 表示为：

$$L_P=[69.55+26.16\lg f-13.82\lg h_T]+(44.9-6.55\lg h_T)\lg d-\alpha(h_R)$$

式中：L_P 为城市传输损耗（dB），f 为工作频率（MHz），h_T、h_R 分别为发射天线和接收天线有效高度（m），$\alpha(h_R)$ 为接收天线高度修正因子，d 为通信距离（km）。

接收天线高度修正因子 $\alpha(h_R)$ 计算方法如下：

中小城市：$\alpha(h_R)=(1.11\lg f-0.7)h_R-(1.56\lg f-0.8)$

大城市：

$$\alpha(h_R)=8.29(l\,g1.54h_R)^2-1.1,\quad f<300MHz$$

$$\alpha(h_R)=3.2(l\,g11.75h_R)^2-4.97,\quad f\geq 300MHz$$

其他常用的修正因子计算方法如下：

郊区修正因子：$K_{mr}=-2\lg^2\left(\frac{f}{28}\right)-5.4$

农村修正因子：

$$R_u=-\lg^2\left(\frac{f}{28}\right)-2.39\lg^2(f)+9.17\lg f-23.17$$

开阔地修正因子：

$$Q_o=-4.78\lg^2(f)+18.33\lg f-40.94$$

2.1.4 场强计算

自由空间场强 E_o 表示为：

$$E_o=222\times10^3\sqrt{G_tP_t}/d\quad(\mu v/m)$$

平坦地面接收场强表示为：

$$E_r=444\times10^3\sqrt{G_t\times P_t}/d\times\{\sin[2\pi\times10^{-3}\times(h_T\times h_R/\lambda d)\times j]\}$$

(dB μ v/m)

2. 2 仿真软件计算

传统的手工计算过程复杂、工作量大、耗时较长。现在可以借助软件工具来完成覆盖计算，不仅计算速度快、效率高，节省大量的人工，同时也提高了计算结果的准确性。本文以法国 ATDI 公司的 ICS Telecom 覆盖规划分析软件为例，介绍如何通过覆盖仿真计算软件来完成覆盖计算。

网络规划仿真计算主要分为 3 个步骤。

2.2.1 设置基础数据

（1）地图信息

仿真软件计算结果比人工计算结果精准的一个重要原因就是仿真软件与覆盖区域的地理信息密切相关，在计算前必须先向软件公司索要适当精度的地图。ICS 软件共有 7 个图层，其中 .GEO 数值地形图层、.IMG+.PAL 影像图层、.SOL 地物图层为地面数字电视覆盖计算必需的图层。

（2）台站信息

新建台站需要设置的基本参数有：台站位置坐标、发射功率、发射天线参数、接收天线参数、损耗、工作模式、调制类型等。

站址的选择应尽量使用现有台站和发射塔，需建新台站则应考虑供电、节目传输、施工条件等因素，设计人员需到现场实地考察，并结合仿真软件覆盖预测结果确定。

发射功率：在进行初步规划时，一般根据用户要求的覆盖范围结合以往工程实施的经验来设置，再根据仿真计算的结果对其进行修正，在保证覆盖范围的情况下采用较低功率等级。

发射天线参数：发射天线参数包括天线增益、天线挂高、天线场型图等。发射天线的选择需要考虑频率范围、最大功率、安装条件、需要覆盖区域形状、安装尺寸、重量等因素。

接收天线参数：接收天线参数包括天线增益、天线挂高等。接收天线的选择还需考虑接收形式，是固定接收还是移动接收，是定向接收还是全向接收，是室内接收还是室外接收。

损耗：包括馈线损耗和插入损耗。馈线损耗与馈线型号相关，需根据发射功率选择合适的馈线。馈线尺寸越大承受的功率高，馈线损耗小，但价格也更高。

发射频率一般需要对发射台周围的无线电频谱情况进行分析，选择使用负担相对较轻、电磁环境相对干净的频道。在频率资源紧张的地区，也可以考虑调整尚未启用的模拟规划台站频道作为数字电视频道。

工作模式和调制类型则要根据客户要传输的节目数量和质量来确定。

2.2.2 规划目标与计算参数设置

计算参数主要包括接收天线的高度、覆盖距离、覆盖门限、计算模型等。

覆盖距离一般应设置比预期覆盖区域的半径稍大一点。如果设置值过小无法得到完整的覆盖区域，设置值过大耗费的计算时间过长。

ICS 软件会根据设置的参数自动生成一个默认的典型门限值，也可根据接收机灵敏度的实际情况自定义门限值，并且可以设定不同的颜色来显示不同的场强范围。

计算模型可根据覆盖地区的实际情况从模型库中选取合适的传播模型。通常山区选取 ITU–R 526 模型，平坦地形和广域覆盖选取 ITU–R 1546 模型。

2.2.3 覆盖结果显示

以新疆乌鲁木齐单频网及补点覆盖项目为例，给出仿真计算覆盖效果图。乌鲁木齐市所辖区县，总面积 14216.3 平方公里，需组建地面数字电视单频网。经现场实地考察，结合地理环境和人口分布情况，初步规划以乌鲁木齐市红山发射台为主站，在水西沟乡建设从站，组建单频网。另建达坂城发射台站，不参与单频网的组网，独立发射。建成后，根据实际测试的情况再酌情增加补点站。目前主站建设和一期 5 个补点转发站的建设已完成，实现了主要城区的覆盖，正在规划二期补点转发站。

新疆乌鲁木地面数字电视发射台计算参数设置如表 2–1 所示。

表 2–1 新疆乌鲁木地面数字电视发射台计算参数

序号		1	2	3
发射台名称		红山电视发射台	乌鲁木齐县水西沟	达坂城区
发射	海拔高度（m）	890	1379	1130
	发射天线相对高度（m）	110	70	70
	经度	E：87° 36′ 38″	E：87° 30′ 08″	E：88° 19′ 03″
	纬度	N：43° 48′ 23″	N：43° 33′ 35″	N：43° 22′ 11″
	发射机输出功率（W）	1000	1000	1000
	发射天线增益（dBd）	10.5	10.5	10.5
	馈线损耗（dB）	2	1.6	1.6
	天线场形	四层四面	四层四面	四层四面
	静态时延	0	0	0
	天线极化方式	水平极化		
接收	接收方式	固定		
	接收天线高度	3 米		
	接收天馈增益	5dBd		
	接收天线方向图	定向		
工作频率		DS–25(中心频率 610MHz)		DS–37(中心频率 706MHz)
模式参数	载波数量	3780		
	调制方式	64QAM		
	编码率	0.6		
	帧头模式	420		
	交织模式	720		
	数据率	24.365Mbps		
门限	最低等效中值场强	室外固定接收：55dBuv/m		室外固定接收：56dBuv/m
	C/N 接收门限	18dB		
	同频干扰保护率	18dB		

仿真软件除对单个台站进行覆盖计算外，还可以进行同频干扰分析，本项目中由于红山与水西沟两个发射台站的台站间距（28km）超过了 PN 序列长度要求（16.7km），因此在两个发射台站之间，靠近红山区域产生了同频干扰现象。

3. 结果分析

以新疆乌鲁木齐单频网及补点覆盖项目为例，对仿真结果进行分析，并与实际测试结果进行对比。

3.1 路测数据（图 1 所示）

3.2 点测数据

针对乌鲁木齐市的实际情况，重点对米东区进行了更为精准的测试。本次测试 65 个地点，有效测试点 59 个，其中 41 个点可以接收到有效信号。

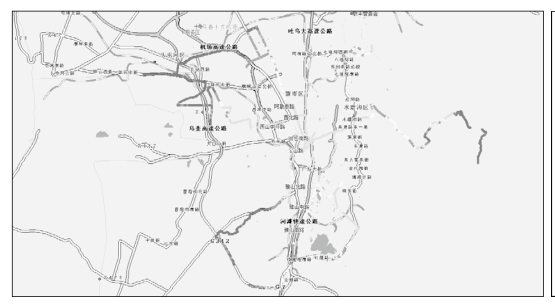
3.3 结果对比

经对比分析，实测得到的数据与仿真软件得到的结果基本吻合，超过 75% 的区域可以实现良好的接收。

3.4 网络优化

在本次单频网同步覆盖干扰分析中，根据接收门限理论推导值为 55 dBuv/ 的理论试算结果：

（1）由于两个发射台站的台站间距（28km）超过了 PN 序列长度要求（16.7km），两个台站组成的单频网存在



	统计区间	最大值	最小值	平均值	采样点	百分比(%)
■	(---, -77.00]	-77.00	-95.50	-83.66	6711	24.95%
■	(-77.00, -67.00]	-67.00	-76.90	-71.67	6141	22.83%
□	(-67.00, -57.00]	-57.00	-66.90	-62.18	5971	22.19%
□	(-57.00, ---)	-26.50	-56.90	-47.99	8080	30.03%

图 1　路测结果

同频干扰区域，但是基于室外固定接收，在同频干扰区域中，实际接收效果比理论仿真结果预估要好。

（2）基于此次同频干扰现象，优化方案有很多种：例如调整单频网时延、调整发射功率、调整天线方向图等多种手段，可以结合多种方法联合调整使用。

（3）由于新疆地区地形复杂、山脉较多，为保证覆盖率，建议分批次建立补点转发站，首先保证覆盖到人口密集的区域，然后再根据资金情况补建偏远地区和人口稀少的地区。

4. 结论

通过单频网及补点覆盖项目的覆盖仿真预测结果与网络建成后的实际测试结果对比，可以验证仿真软件的预测结果与实际结果基本吻合。覆盖规划分析软件可以作为地面数字电视覆盖网络规划工程方案设计的辅助工具。通过仿真软件进行覆盖网络规划，可以把预测的网络建成后效果以直观的方式展现出来，使用户和方案设计人员可以清晰地了解到网络建成后的覆盖效果，如预测结果与预期目标有偏差，可以方便快捷地对发射台位置、天线挂高、天线方向图、天线增益、发射功率等相关工程参数进行反复的仿真计算和修改，达到满意的覆盖效果，获得最佳设计方案。

参考文献

[1] 冯景峰，李国松，李熠星 . 地面数字电视广播覆盖网络规划参数 [J]. 广播电视与技术，2007（2）.

[2] 庄谦，杨知行，潘长勇，韩猛 . 单频网及其在 DTMB 中的应用 [J]. 电视技术，2003（10）.

[3] 何剑辉，李国松，倪士兰 . 地面数字电视发射广播规划台站数据参数介绍 [J]. 广播电视与技术，2007（2）.

[4] 数字电视国家工程实验室 . 地面数字电视发射系统与覆盖网络 . 北京：科学出版社，2012（3）.

（作者单位：青海省中波台管理中心 ）

（上接第 68 页）

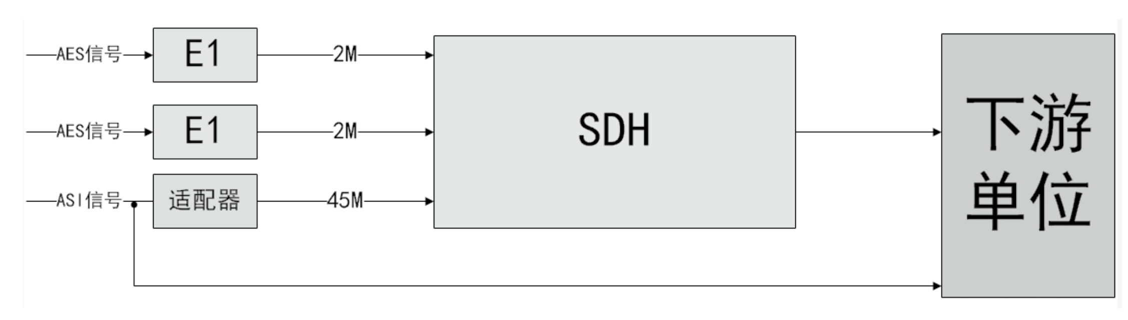


图 2　SDH 复接传输的应用

传输质量高等优点的同时，也会具有频带使用率低、软件的使用对系统安全造成一定的影响等一系列缺点，这些都是不容忽视。

随着科学技术日新月异的发展，我们期待在不久的将来，会有新型的音频编码与传输技术，使得我们的广播音频能在让人满意的传输速率下，保证较高的声音质量，进行快速、可靠、安全的传输。

参考文献

[1] 国家广播电影电视总局 . 演播室数字音频信号接口（GY/T158-2000）[S]. 北京：国家广播电影电视总局，2000：3.

[2] 卢官明，宗昉 . 数字音频原理与技术 [M]. 北京：机械工业出版社，2012：58-59.

[3] 罗宾，宝林 . 数字电视基础——视频和音频系统的设计与安装 [M]. 北京：人民邮电出版社，2003：305-307，457-458.

[4] 杨心强，陈国友 . 数据通信与计算机网络 [M]. 北京：电子工业出版社，2014：125-128.

（作者单位：广西人民广播电台）